

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
22 janvier 2004 (22.01.2004)

PCT

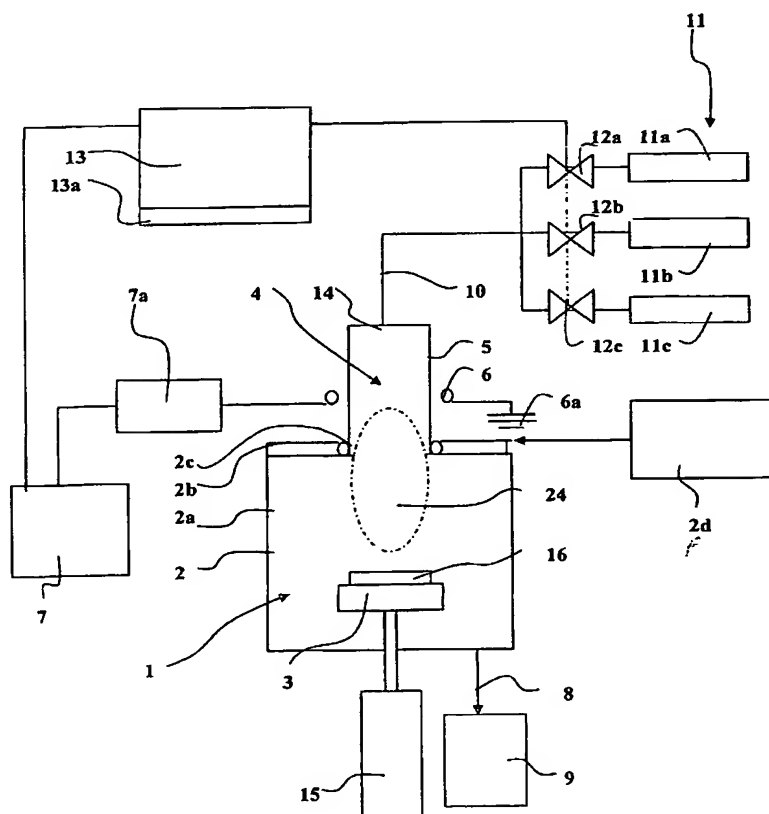
(10) Numéro de publication internationale  
WO 2004/008816 A2

- (51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> : H05H 1/46
- (21) Numéro de la demande internationale : PCT/FR2003/002157
- (22) Date de dépôt international : 10 juillet 2003 (10.07.2003)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité : 02/08729 11 juillet 2002 (11.07.2002) FR
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : ALCA-TEL [FR/FR]; 54, rue La Boétie, F-75008 Paris (FR).
- (72) Inventeur; et
- (75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : PUECH, Michel [FR/FR]; 9, chemin du Bois Bernard, F-74370 Metz Tassy (FR).
- (74) Mandataire : PONCET, Jean-François; Cabinet Poncet, 7, chemin de Tillier, B.P. 317, F-74008 Annecy Cedex (FR).
- (81) États désignés (national) : JP, US.
- (84) États désignés (régional) : brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR SUBSTRATE ETCHING WITH VERY HIGH POWER INDUCTIVELY COUPLED PLASMA

(54) Titre : PROCEDE ET DISPOSITIF POUR LA GRAVURE DE SUBSTRAT PAR PLASMA INDUCATIF A TRES FORTE PUISSANCE



(57) Abstract: The invention concerns a method and a system wherein the etching process is carried out in a reaction chamber (1) by acting on a substrate (16) polarized by a polarization generator (15) a plasma generated by a plasma source (4) contained in a sealed wall (5) made of dielectric material enclosed with an inductive coupling antenna (6) fed by a radio frequency generator (7). Control means (13) monitor the solenoid valves (12a, 12b, 12c) and the radio frequency generator (7), so as to produce a preparatory step which consists in gradually establishing plasma excitation power, a step which consists in injecting into the reaction chamber (1) a neutral gas such as argon or nitrogen, and in gradually establishing the power delivered by the radio frequency generator (7) until a nominal power is achieved, thereby avoiding heat shocks liable to destroy the sealed wall (5) of dielectric material, thus enabling use of plasma excitation power levels higher than 3000 watts.

[Suite sur la page suivante]

**Déclaration en vertu de la règle 4.17 :**

- *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)) pour US seulement*

**Publiée :**

- *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport*

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

---

**(57) Abrégé :** Selon l'invention, on effectue la gravure dans une chambre de réaction (1) en faisant agir sur un substrat (16) polarisé par un générateur de polarisation (15) un plasma généré par une source de plasma (4) contenue dans une paroi étanche (5) en matériau diélectrique entourée d'une antenne de couplage inductif (6) alimentée par un générateur radiofréquence (7). Des moyens de commande (13) pilotent des électrovannes (12a, 12b, 12c) et le générateur radiofréquence (7), de façon à produire une étape préalable d'établissement progressif de puissance d'excitation de plasma, étape au cours de laquelle on injecte dans la chambre de réaction (1) un gaz neutre tel que l'argon ou l'azote, et on établit progressivement la puissance délivrée par le générateur radiofréquence (7) jusqu'à atteindre une puissance nominale. On évite ainsi les chocs thermiques susceptibles de détruire la paroi étanche (5) en matériau diélectrique, permettant l'utilisation de puissances d'excitation de plasma supérieures à 3 000 Watts.

PROCEDE ET DISPOSITIF POUR LA GRAVURE DE SUBSTRAT  
PAR PLASMA INDUCTIF A TRES FORTE PUISSANCE

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

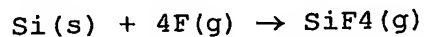
5           La présente invention concerne les procédés et dispositifs pour la gravure de substrats, par exemple dans les réacteurs utilisés pour la mise en œuvre de procédés de micro-usinage ou de gravure d'un substrat en silicium.

          Lorsqu'on réalise une gravure d'un substrat de silicium  
10 dans un réacteur plasma, les séquences sont les suivantes :  
- après avoir introduit et positionné le substrat sur un porte-échantillon contenu dans une chambre de réaction, on introduit le ou les gaz de gravure tel qu'un gaz fluoré comme le SF<sub>6</sub> à un débit pré-établi ;  
15 - par un groupe de pompage et un système d'asservissement de pression, on établit dans la chambre de réaction une pression appropriée, et on maintient cette pression ;  
- après que la pression se soit stabilisée, on excite le gaz dans la chambre de réaction par une onde électromagnétique d'excitation,  
20 pour générer un plasma ; simultanément, on polarise le substrat sur le porte-échantillon pour accélérer les ions qui viennent bombarder la surface du substrat en cours de gravure.

          Dans les applications de micro-usinage, on cherche à graver le silicium le plus vite possible. Parmi les paramètres  
25 accessibles pour contrôler la vitesse de gravure, les paramètres les plus influents sont :

- la pression partielle des atomes de gaz halogène comme le SF<sub>6</sub>,
- la puissance de l'onde électromagnétique d'excitation des gaz.

          La puissance de l'onde électromagnétique d'excitation  
30 permet de ioniser et dissocier les molécules de gaz halogène tel que le SF<sub>6</sub>, pour générer des atomes de fluor. Ces atomes de fluor arrivant sur la surface du substrat de silicium vont réagir avec celui-ci pour former une molécule gazeuse suivant la réaction :



35           La gravure consiste ainsi à prélever sur le substrat des atomes de silicium, qui sont transformés par la réaction en un gaz

$\text{SiF}_4$  que les moyens de pompage éliminent hors de la chambre de réaction.

On comprend donc que la vitesse de gravure du silicium est directement proportionnelle à la pression de fluor atomique, donc  
5 au taux de dissociation des molécules de gaz halogène tel que le  $\text{SF}_6$ .

Parmi les différents types de source plasma, on connaît la source RIE (Reactive Ion Etching), ECR (Electron Cyclotron Resonance) et ICP (Inductively Coupled Plasma). Ce sont ces  
10 dernières sources ICP, ou sources de plasma par couplage inductif, qui présentent le plus fort taux de dissociation dans les régimes de haute pression, permettant à la fois un fort taux de dissociation et une grande pression partielle d'atomes de gaz halogène tel que le  $\text{SF}_6$  dans la chambre de réaction.

15 On est donc naturellement conduit à utiliser une source ICP pour augmenter la vitesse de gravure du silicium.

Les sources plasma de type ICP sont toutes constituées de deux éléments principaux :

- une paroi étanche en matériau diélectrique, qui ferme de façon  
20 étanche la chambre de réaction,
- une antenne réalisée dans un matériau conducteur de l'électricité tel que le cuivre, qui entoure ou surmonte la paroi étanche en diélectrique ; cette antenne est reliée à l'une de ses extrémités à la masse électrique de l'équipement et à son autre extrémité à un  
25 générateur de puissance radiofréquence via un adaptateur automatique d'impédance.

La paroi étanche en matériau diélectrique se raccorde au reste de la paroi de la chambre de réaction, généralement en métal, par des joints d'étanchéité généralement réalisés dans des  
30 matériaux de type polymère. Ces matériaux ont des températures maximales d'utilisation n'excédant pas  $150^\circ\text{C}$  en utilisation continue. Pour cela, on refroidit la zone de paroi de chambre de réaction proche des joints d'étanchéité.

Au cours d'un procédé de gravure d'un substrat tel que le  
35 silicium, la qualité de la gravure dépend du réglage à une valeur précise à chaque instant de tous les paramètres de gravure, notamment de la pression de gaz de gravure, mais aussi de la

puissance de l'onde électromagnétique d'excitation transmise au gaz pour générer le plasma. L'enchaînement des séquences de gravure s'effectue dans un intervalle de temps de l'ordre de quelques millisecondes.

5 Par conséquent, au niveau de la source de plasma, on se trouve dans une situation où l'on doit produire un couplage inductif quasi instantané de la puissance radiofréquence nominale au plasma à travers la paroi étanche en matériau diélectrique.

10 Jusqu'à présent, on a pu réaliser des couplages inductifs quasi instantanés de puissances d'onde électromagnétique d'excitation de l'ordre de 2 000 Watts, en utilisant des parois étanches de matériaux diélectriques qui résistent aux élévations de température. On a utilisé avec succès l'alumine  $Al_2O_3$ .

15 Cependant, un tel matériau ne permet pas de réaliser un couplage inductif quasi instantané d'une puissance d'onde électromagnétique d'excitation supérieure à un maximum de l'ordre de 3 000 Watts, à défaut de quoi on assiste à une destruction quasi instantanée de la source de plasma : la paroi étanche en matériau diélectrique se fissure, occasionnant la remise à pression  
20 atmosphérique du réacteur de gravure, et pouvant produire l'implosion de l'ensemble et donc sa destruction.

Ainsi, à ce jour, il n'y a pas de solution permettant de coupler de très fortes puissances, de manière quasi instantanée, au travers d'un matériau diélectrique tel que l'alumine.

#### 25 EXPOSE DE L'INVENTION

La présente invention a pour objet d'éviter les inconvénients des structures et procédés connus de gravure de substrat par plasma inductif, en autorisant le couplage de puissances radiofréquentes pouvant aller jusqu'à 5 000 Watts au  
30 travers d'un matériau diélectrique tel que l'alumine.

Simultanément, l'invention vise à conserver une bonne qualité de gravure, évitant l'utilisation d'étapes de gravure dans lesquelles les paramètres ne sont pas maintenus à leurs valeurs nominales précises.

35 L'idée qui est à la base de l'invention est de réduire le choc thermique du matériau diélectrique formant la source de plasma, en couplant de façon graduelle la puissance de l'onde

électromagnétique d'excitation. On va ainsi faire une rampe de montée en puissance, la pente de cette rampe étant suffisamment faible pour ne pas créer un choc thermique destructeur.

5 Mais comme les performances et la qualité de la gravure dépendent de la valeur des paramètres machine comme la puissance radiofréquence, il n'est pas envisageable d'amorcer le plasma de gravure et ensuite de faire une montée en puissance progressive alors que le substrat est positionné sur le porte-échantillon polarisé : on aurait en effet pendant toute la phase de montée en  
10 puissance des conditions de plasma éminemment variables et néfastes pour l'obtention des performances de gravure optimales.

Selon l'invention, on fait une montée en puissance progressive mais en présence d'un gaz neutre tel que l'azote ou l'argon, de telle sorte qu'il n'y ait pas de réaction entre ce gaz  
15 et l'échantillon de silicium.

Le gaz neutre a pour seul rôle de permettre de générer un plasma qui va, sous l'effet de la montée progressive en puissance, chauffer progressivement le matériau diélectrique et l'amener ainsi à sa température de travail correspondant à la puissance maximale  
20 utilisée pendant l'étape de gravure par plasma de gaz réactif.

Après cette étape de mise en température du matériau diélectrique par plasma de gaz neutre, on peut arrêter l'injection de ce gaz neutre et basculer instantanément en gaz réactif halogéné comme le  $\text{SF}_6$  pour effectuer la gravure proprement dite.

25 Pour atteindre ces objets ainsi que d'autres, l'invention prévoit un procédé de gravure d'un substrat par un plasma inductif, dans lequel on place le substrat dans une chambre de réaction, on établit dans la chambre de réaction une atmosphère d'un gaz approprié à pression de fonctionnement appropriée, on polarise le  
30 substrat, et on excite le gaz dans la chambre de réaction par une onde électromagnétique d'excitation à radiofréquence traversant une paroi étanche en matériau diélectrique pour générer un plasma ; selon l'invention, ce procédé comprend une étape préalable d'établissement progressif de puissance de l'onde électromagnétique  
35 d'excitation de plasma, au cours de laquelle on injecte dans la chambre de réaction un gaz neutre pour le substrat et on augmente progressivement la puissance de l'onde électromagnétique

d'excitation du plasma jusqu'à atteindre la puissance nominale appropriée, formant un plasma de gaz neutre qui chauffe progressivement la paroi étanche en matériau diélectrique, puis on injecte le gaz actif dans la chambre de réaction pour remplacer le gaz neutre et entreprendre les étapes actives de gravure par le plasma de gaz actif.

De préférence, l'augmentation progressive de puissance d'excitation du plasma est programmée de façon à limiter en-deçà d'un seuil destructeur le choc thermique appliqué à la paroi étanche en matériau diélectrique par le plasma de gaz neutre.

Lorsque cela est possible, l'étape préalable d'établissement progressif de puissance d'excitation de plasma est entreprise seulement en début de fonctionnement de la chambre de réaction après une période d'inactivité, et elle est suivie d'une alternance d'étapes actives de gravure au cours desquelles la température de la paroi étanche en matériau diélectrique reste dans une plage de valeurs suffisamment étroite pour éviter tout choc thermique destructeur de la paroi étanche en matériau diélectrique.

Les étapes actives de gravure peuvent comprendre une succession d'étapes de gravure par un gaz fluoré tel que le  $\text{SF}_6$  et d'étapes de passivation par un gaz de passivation tel que  $\text{CxFy}$ .

L'invention prévoit également un dispositif pour la gravure de substrats par plasma inductif mettant en œuvre un procédé tel que défini ci-dessus, comprenant une chambre de réaction entourée d'une paroi étanche, la chambre de réaction contenant des moyens supports de substrat et étant en communication avec une source de plasma à couplage inductif à paroi étanche en matériau diélectrique et à antenne de couplage inductif alimentée par un générateur radiofréquence, la chambre de réaction étant raccordée par une ligne de vide à des moyens de pompage pour établir et maintenir un vide approprié dans la chambre de réaction, la chambre de réaction étant raccordée par une ligne d'entrée à une source de gaz de procédé ; selon l'invention :

- la source de gaz de procédé comprend une source de gaz neutre, au moins une source de gaz actif, et des moyens de distribution pilotés par des moyens de commande pour introduire le gaz approprié dans la chambre de réaction,

- le générateur radiofréquence comprend des moyens de réglage de puissance de radiofréquence pilotés par les moyens de commande,  
- les moyens de commande comprennent un programme de commande avec une séquence préalable d'établissement de puissance, dans  
5 laquelle :

a) les moyens de commande pilotent les moyens de distribution pour introduire un gaz neutre dans la chambre de réaction,

b) les moyens de commande pilotent les moyens de réglage  
10 de puissance radiofréquence du générateur radiofréquence de façon à produire une énergie radiofréquence qui croît progressivement jusqu'à atteindre la puissance nominale,

c) puis les moyens de commande pilotent les moyens de distribution pour remplacer dans la chambre de réaction le gaz  
15 neutre par un gaz actif.

#### DESCRIPTION SOMMAIRE DES DESSINS

D'autres objets, caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront de la description suivante de modes de réalisation particuliers, faite en relation avec les figures  
20 jointes, parmi lesquelles:

- la figure 1 est une vue schématique illustrant la structure générale d'un dispositif de gravure selon un mode de réalisation de la présente invention ; et  
- la figure 2 illustre schématiquement les diagrammes temporels de  
25 fonctionnement des principaux organes du dispositif de la figure 1, le diagramme a) illustrant la variation de puissance d'excitation de plasma, le diagramme b) illustrant l'alimentation de la chambre de réaction en gaz neutre, le diagramme c) illustrant l'alimentation de la chambre de plasma en gaz de gravure, le  
30 diagramme d) illustrant l'alimentation de la chambre de plasma en gaz de passivation, et le diagramme e) illustrant la courbe de polarisation du substrat à graver.

#### DESCRIPTION DES MODES DE REALISATION PREFERES

On se référera tout d'abord au dispositif illustré sur la  
35 figure 1. On distingue une chambre de réaction 1 entourée d'une paroi étanche 2. La chambre de réaction 1 contient des moyens supports de substrat 3, adaptés pour recevoir et maintenir un



substrat 16 à graver. La chambre de réaction 1 est en communication avec une source de plasma 4 à couplage inductif, constituée d'une paroi étanche 5 en un matériau diélectrique associée à une antenne de couplage inductif 6 alimentée par un générateur radiofréquence 7 par l'intermédiaire d'un adaptateur d'impédance 7a.

La chambre de réaction 1 est raccordée par une ligne de vide 8 à des moyens de pompage 9 pour établir et maintenir un vide approprié dans la chambre de réaction 1. La chambre de réaction 1 est raccordée par une ligne d'entrée 10 à une source de gaz de procédé 11.

Dans le mode de réalisation illustré, la paroi étanche 2 de chambre de réaction comprend une portion périphérique 2a qui se raccorde à une portion frontale d'entrée 2b elle-même ouverte pour communiquer avec un tube d'entrée constituant la source de plasma 4.

Cette source de plasma 4, dans le mode de réalisation illustré, est constituée d'une paroi étanche 5 en matériau diélectrique, de forme tubulaire, et l'antenne de couplage inductif 6 est une spire coaxiale en matériau électriquement conducteur disposée autour de la paroi tubulaire, et raccordée d'une part à la masse 6a de l'appareil et d'autre part à la sortie de l'adaptateur d'impédance 7a.

L'antenne de couplage inductif 6 est disposée autour de la partie centrale de la paroi étanche tubulaire 5 en matériau diélectrique, elle-même constituée en alumine  $Al_2O_3$ .

Pour le raccordement entre la paroi étanche tubulaire 5 en matériau diélectrique et la portion frontale d'entrée 2b de chambre de réaction 1, laquelle portion 2b est généralement réalisée en métal, on prévoit un joint d'étanchéité 2c. Par ailleurs, on prévoit des moyens de refroidissement 2d permettant de refroidir la portion frontale d'entrée 2b et le joint d'étanchéité 2c.

Le substrat 16, maintenu sur les moyens supports de substrat 3, est polarisé par un générateur de polarisation 15, de façon connue.

La source de gaz de procédé 11 comprend une source de gaz neutre 11a, et au moins une source de gaz actif. Par exemple, on prévoit une première source de gaz actif 11b contenant un gaz

fluoré tel que le  $\text{SF}_6$ , pour la gravure, et une seconde source de gaz actif 11c contenant un gaz de passivation tel que le  $\text{C}_4\text{F}_8$ .

Des moyens de distribution permettent de piloter l'introduction d'un gaz approprié dans la chambre de réaction 1.

5 Les moyens de distribution comprennent des électrovannes 12a, 12b et 12c raccordées chacune en série entre une sortie d'une source de gaz correspondante 11a, 11b et 11c et une entrée 14 dans la source de plasma 4.

10 Le générateur radiofréquence 7 comprend des moyens de réglage de puissance radiofréquence, pilotables par des moyens de commande 13. De même, les moyens de distribution 12a, 12b et 12c sont pilotables par des moyens de commande 13.

15 On prévoit des moyens de commande 13, par exemple un micro-contrôleur et des organes d'entrée/sortie, associés à un programme de commande, adaptés pour piloter les moyens de distribution à électrovannes 12a-12c et le générateur radiofréquence 7.

20 Les moyens de commande 13 comprennent un programme de commande 13a avec une séquence préalable d'établissement de puissance, dans laquelle :

a) les moyens de commande 13 pilotent les moyens de distribution, par ouverture de l'électrovanne de gaz neutre 12a, pour introduire un gaz neutre tel que l'azote  $\text{N}_2$  ou l'argon dans la chambre de réaction 1,

25 b) les moyens de commande 13 pilotent les moyens de réglage de puissance radiofréquence du générateur radiofréquence 7 de façon à produire une énergie radiofréquence qui croît progressivement jusqu'à atteindre la puissance nominale  $\text{PN}$ , de façon à produire un plasma 24 dans la source de plasma 4 pour échauffer progressivement la paroi étanche 5 en matériau diélectrique de la source de plasma,

30 c) puis, après échauffement suffisant de la paroi étanche 5, les moyens de commande 13 pilotent les moyens de distribution pour fermer l'électrovanne de gaz neutre 12a et ouvrir une électrovanne de gaz actif 12b ou 12c. En pratique, on ouvre séquentiellement l'électrovanne de gaz de gravure 12b ou l'électrovanne de gaz de passivation 12c pour introduire les gaz

actifs dans la chambre de réaction 1, et les moyens de commande 13 pilotent simultanément les moyens de réglage de puissance radiofréquence du générateur radiofréquence 7 de façon à produire le plasma 24 approprié pour les étapes de gravure et de passivation.

On se référera maintenant à la figure 2, qui illustre les étapes d'un procédé de gravure selon un mode de réalisation de l'invention.

Après avoir placé le substrat 16 (figure 1) dans la chambre de réaction 1, on établit dans la chambre de réaction une atmosphère d'un gaz neutre tel que l'azote  $N_2$  ou l'argon : à l'instant A, le diagramme b) indique la présence d'azote pendant une première étape allant jusqu'à l'instant B. Pendant cette étape, les moyens de pompage 9 établissent et maintiennent une pression appropriée à l'intérieur de la chambre de réaction 1, pression choisie pour l'établissement correct d'un plasma 24. On évite pendant cette étape de polariser le substrat 16, comme cela est illustré dans le diagramme e) de la figure 2 : la tension de polarisation V est absente pendant l'étape entre les instants A et B. Pendant cette même étape, on établit progressivement la puissance d'excitation de plasma, comme indiqué dans le diagramme a) de la figure 2, par exemple par une progression linéaire de puissance entre les instants A et B, jusqu'à atteindre la puissance nominale PN à l'instant B.

A l'instant B, ou après un délai supplémentaire déterminé pour que soit atteint un échauffement suffisant de la paroi étanche 5, on interrompt l'introduction de gaz neutre tel que l'azote ou l'argon, comme le représente par exemple le diagramme b) qui montre la fin de présence d'azote dès l'instant B.

A ce même instant B, ou après le délai supplémentaire ci-dessus, on introduit dans la chambre de réaction 1 un gaz de gravure halogéné tel que  $SF_6$ , et l'on maintient sa présence pendant une étape BC de durée appropriée en fonction du processus de gravure désiré. Pendant cette étape, on polarise le substrat par une tension V comme illustré sur le diagramme e), en établissant éventuellement la tension de polarisation avec un retard approprié par rapport à l'établissement de présence du gaz de gravure  $SF_6$ . On

remplace ensuite à l'instant C le gaz de gravure  $\text{SF}_6$  par un gaz de passivation tel que  $\text{C}_4\text{F}_8$ , le diagramme c) montrant la disparition du  $\text{SF}_6$  et le diagramme d) montrant l'apparition du  $\text{C}_4\text{F}_8$  et son maintien, jusqu'à un instant D. Au cours de cette étape CD, le gaz de passivation produit un dépôt de polymère sur les surfaces du substrat. On alterne ensuite des étapes de gravure et des étapes de passivation, comme illustré sur les diagrammes, en polarisant chaque fois le substrat pour attirer le plasma 24, et en maintenant la puissance d'excitation du plasma à une valeur appropriée pouvant être proche de la valeur nominale PN.

Ainsi, l'étape préalable d'établissement progressif de puissance d'excitation de plasma est entreprise seulement en début de fonctionnement de la chambre de réaction 1 après une période d'inactivité, et elle est suivie des étapes actives de gravure, par exemple d'une alternance d'étapes de gravure et d'étapes de passivation, au cours desquelles la température de la paroi étanche 5 en matériau diélectrique reste dans une plage de valeurs suffisamment étroite pour éviter tout choc thermique destructeur de la paroi étanche 5 en matériau diélectrique.

Au cours de l'étape préalable d'établissement progressif de puissance d'excitation de plasma, entre les instants A et B, la pente de l'accroissement de puissance illustrée sur le diagramme a) est choisie suffisamment faible pour éviter tout risque de destruction de la paroi étanche 5 en matériau diélectrique par le plasma de gaz neutre.

Par l'utilisation d'un gaz neutre, tel que l'azote  $\text{N}_2$  ou l'argon, on évite que le plasma 24 de gaz neutre agisse sur le substrat 16 à graver, de sorte que l'on conserve une bonne qualité de gravure. De préférence, pendant cette étape on évite également de polariser le substrat 16, pour éviter un bombardement de plasma sur le substrat 16.

Grâce à l'utilisation des moyens de l'invention, on peut, sans détruire la source de plasma 4 et sa paroi étanche 5 en matériau diélectrique, établir une puissance radiofréquence supérieure à 3 000 Watts, permettant de graver à vitesse supérieure. Des essais satisfaisants ont été menés avec des

puissances radiofréquences pouvant aller jusqu'à 5 000 Watts, au travers d'un matériau diélectrique tel que l'alumine.

La présente invention n'est pas limitée aux modes de réalisation qui ont été explicitement décrits, mais elle en inclut  
5 les diverses variantes et généralisations qui sont à la portée de l'homme du métier.

REVENDEICATIONS

1 - Procédé de gravure d'un substrat (16) par un plasma (24) inductif, dans lequel on place le substrat (16) dans une chambre de réaction (1), on établit dans la chambre de réaction (1) une atmosphère d'un gaz approprié à pression de fonctionnement appropriée, on polarise le substrat (16), et on excite le gaz dans la chambre de réaction (1) par une onde électromagnétique d'excitation à radiofréquence traversant une paroi étanche (5) en matériau diélectrique pour générer un plasma (24), procédé caractérisé en ce qu'il comprend une étape préalable d'établissement progressif de puissance de l'onde électromagnétique d'excitation de plasma, au cours de laquelle on injecte dans la chambre de réaction (1) un gaz neutre pour le substrat et on augmente progressivement la puissance de l'onde électromagnétique d'excitation du plasma jusqu'à atteindre la puissance nominale appropriée, formant un plasma (24) de gaz neutre qui chauffe progressivement la paroi étanche (5) en matériau diélectrique, puis on injecte le gaz actif dans la chambre de réaction (1) pour remplacer le gaz neutre et entreprendre les étapes actives de gravure par le plasma (24) de gaz actif.

2 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'augmentation progressive de puissance d'excitation du plasma est programmée de façon à limiter en-deçà d'un seuil destructeur le choc thermique appliqué à la paroi étanche (5) en matériau diélectrique par le plasma (24) de gaz neutre.

3 - Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que l'étape préalable d'établissement progressif de puissance d'excitation de plasma est entreprise seulement en début de fonctionnement de la chambre de réaction (1) après une période d'inactivité, et elle est suivie d'une alternance d'étapes actives de gravure (BC ; CD) au cours desquelles la température de la paroi étanche (5) en matériau diélectrique reste dans une plage de valeurs suffisamment étroite pour éviter tout choc thermique destructeur de la paroi étanche (5) en matériau diélectrique.

4 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les étapes actives de gravure comprennent une succession d'étapes de gravure (BC) par un gaz fluoré tel que

le  $\text{SF}_6$  et d'étapes de passivation (CD) par un gaz de passivation tel que  $\text{CxFy}$ .

- 5 - Dispositif pour la gravure de substrats (16) par plasma inductif mettant en œuvre un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, comprenant une chambre de réaction (1) entourée d'une paroi étanche (2), la chambre de réaction (1) contenant des moyens supports de substrat (3) et étant en communication avec une source de plasma (4) à couplage inductif à paroi étanche (5) en matériau diélectrique et à antenne de couplage inductif (6) alimentée par un générateur radiofréquence (7), la chambre de réaction (1) étant raccordée par une ligne de vide (8) à des moyens de pompage (9) pour établir et maintenir un vide approprié dans la chambre de réaction (1), la chambre de réaction (1) étant raccordée par une ligne d'entrée (10) à une source de gaz de procédé (11), caractérisé en ce que :
- la source de gaz de procédé (11) comprend une source de gaz neutre (11a), au moins une source de gaz actif (11b, 11c), et des moyens de distribution (12a, 12b, 12c) pilotés par des moyens de commande (13) pour introduire le gaz approprié dans la chambre de réaction (1),
  - le générateur radiofréquence (7) comprend des moyens de réglage de puissance de radiofréquence pilotés par les moyens de commande (13),
  - les moyens de commande (13) comprennent un programme de commande (13a) avec une séquence préalable d'établissement de puissance, dans laquelle :
    - a) les moyens de commande (13) pilotent les moyens de distribution (12a, 12b, 12c) pour introduire un gaz neutre dans la chambre de réaction (1),
    - b) les moyens de commande (13) pilotent les moyens de réglage de puissance radiofréquence du générateur radiofréquence (7) de façon à produire une énergie radiofréquence qui croît progressivement jusqu'à atteindre la puissance nominale (PN),
    - c) puis les moyens de commande (13) pilotent les moyens de distribution (12a, 12b, 12c) pour remplacer dans la chambre de réaction (1) le gaz neutre par un gaz actif.

6 - Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce que les moyens de distribution (12a, 12b, 12c) comprennent des électrovannes raccordées chacune en série entre une sortie d'une source de gaz correspondante (11a, 11b, 11c) et une entrée (14) dans la source de plasma (4).

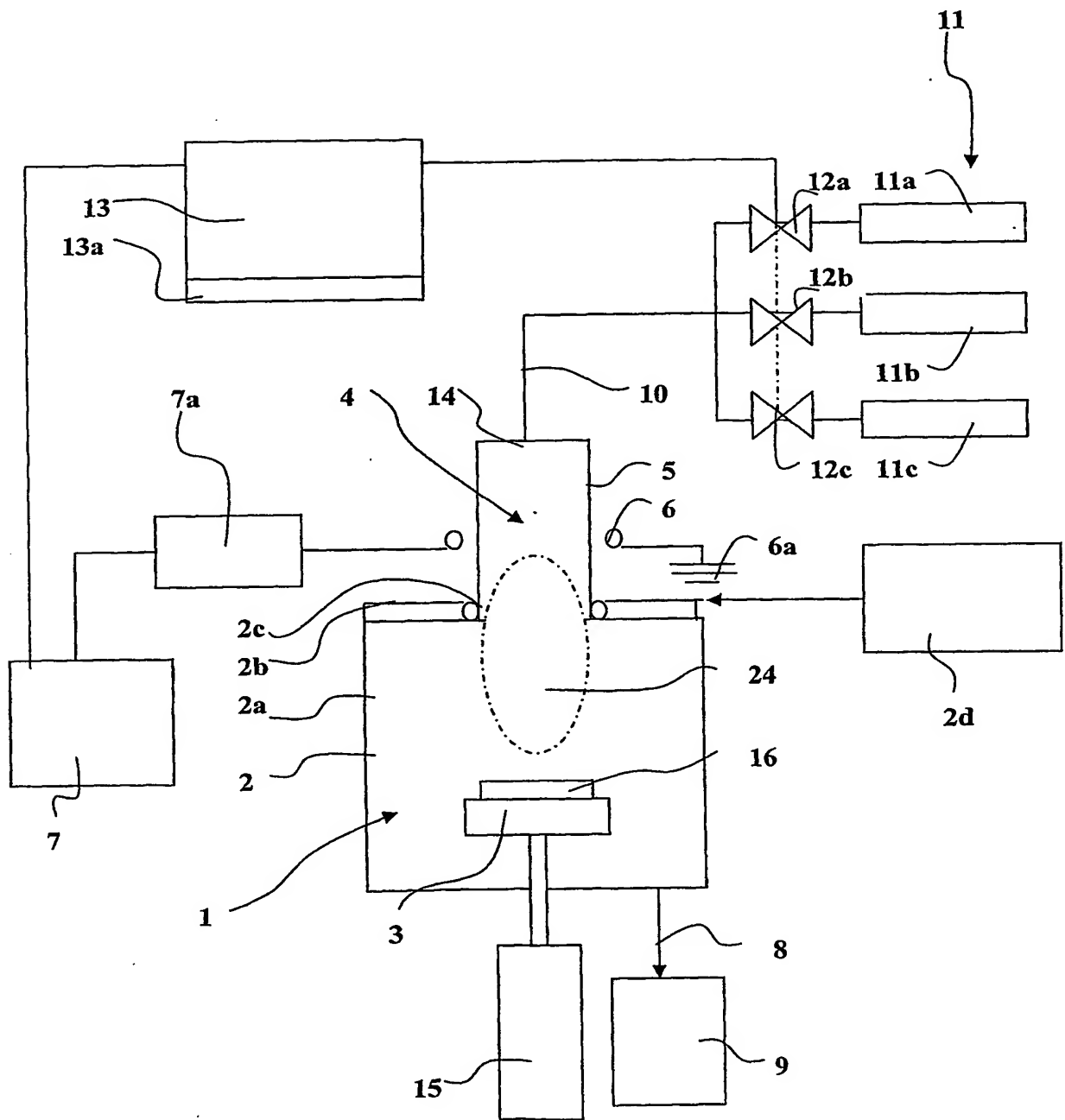
7 - Dispositif selon l'une des revendications 5 ou 6, caractérisé en ce qu'il comprend une source de gaz neutre (11a) tel que l'azote ( $N_2$ ) ou l'argon, une source de gaz de gravure (11b) tel que le  $SF_6$ , et une source de gaz de passivation (11c) tel que le  $C_4F_8$ .

8 - Dispositif selon l'une quelconque des revendications 5 à 7, caractérisé en ce que la paroi étanche (5) en matériau diélectrique de la source de plasma (4) est en alumine  $Al_2O_3$ .

9 - Dispositif selon l'une quelconque des revendications 5 à 8, caractérisé en ce que la paroi étanche (5) en matériau diélectrique de la source de plasma (4) est de forme tubulaire, et l'antenne de couplage inductif (6) est une spire coaxiale disposée autour de la paroi tubulaire.

10 - Dispositif selon l'une quelconque des revendications 5 à 9, caractérisé en ce que la paroi étanche (2) de chambre de réaction (1) comprend une portion périphérique (2a) qui se raccorde à une portion frontale d'entrée (2b) elle-même ouverte pour communiquer avec un tube d'entrée constituant la source de plasma (4), la portion frontale d'entrée (2b) se raccordant à la paroi étanche (5) en matériau diélectrique par un joint d'étanchéité (2c), avec des moyens de refroidissement (2d) pour refroidir la portion frontale d'entrée (2b) et le joint d'étanchéité (2c).





**FIG. 1**

2/2

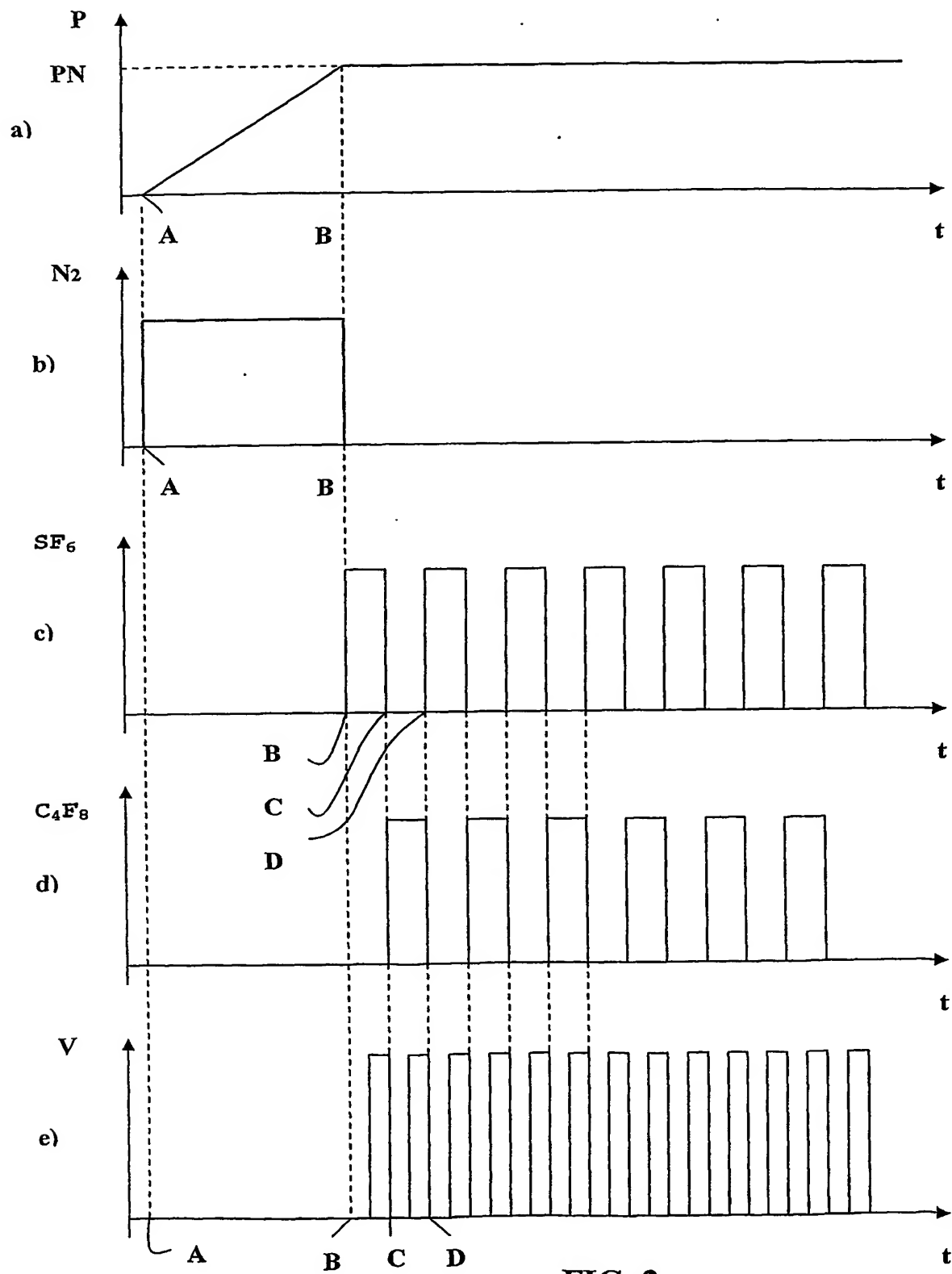


FIG. 2